

## بررسی کمی و کیفی میکرو و نانوپلاستیک‌های پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب تهران

سمیه شیرازی<sup>۱</sup>؛ رویا مافی غلامی<sup>۲\*</sup>؛ حمید مقیمی<sup>۳</sup>؛ سید مهدی برقی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری آلودگی‌های محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران

۲- دانشیار آلودگی‌های محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب، تهران، ایران

۳- دانشیار گروه میکروبیولوژی، دانشکده زیست شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، ایران

۴- استاد گروه محیط زیست، دانشکده مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

(تاریخ دریافت ۰۴/۳۱/۰۰- تاریخ پذیرش ۰۰/۱۱/۱۷)

### چکیده:

از مهمترین مطالعات انجام شده روی میکرو و نانوپلاستیک‌ها، بررسی پساب فاضلاب شهری است، چرا که پساب‌ها از عوامل مهم در انتقال این آلاینده‌های نوظهور به محیط‌زیست می‌باشند. در این پژوهش، که از آذر ماه ۱۳۹۸ تا آذرماه ۱۳۹۹ انجام شد هر ماه ۴ نمونه ۱ لیتری (در مجموع ۴۸ نمونه) از پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران نمونه‌گیری شد. پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها ۴۸/۴۷٪ فیبر، ۴۷،۴۷٪ فراگمنت و ۵/۰۵٪ را فیلم تشکیل دادند. میانگین تعداد در نمونه‌ها، بیش از ۳۰۰۰ میکروپلاستیک در هر ۱ لیتر نمونه پساب برآورد شد. در نمونه‌های فصل‌های تابستان و بهار به ترتیب کمترین بیشترین تعداد میکروپلاستیک به تعداد ۵۹۰۵ و ۴۸۷۳ محاسب شد که ۳۴/۷۲ درصد از آن مربوط به نانوپلاستیک‌ها بود. همچنین میانگین نتایج ۲۰ تست رامان از ۴۸ نمونه نشان داد که بیشترین مقدار میکروپلاستیک‌ها مربوط به پلی پروپیلن و به دنبال آن پلی اتیلن است.

**کلید واژگان:** پروپیلن، پساب، میکروپلاستیک، نانوپلاستیک

## ۱. مقدمه

نشان داده است که ذرات به اندازه میلی‌متر می‌توانند به ذرات حتی کوچکتر نیز تقسیم شوند، که نانو پلاستیک نامیده می‌شوند (Chang *et al.*, 2019). عنوان شده است که میکروپلاستیک می‌تواند به ذرات کوچکتر، به عنوان مثال، نانو پلاستیک ( $NP > 100$  نانومتر) تجزیه شود، اما به دلیل مشکلات تشخیص ذرات  $> 20$  میکرومتر، حضور آن‌ها در اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها هنوز تأیید نشده است با این حال، از آنجا که غلظت ذرات پلاستیک با کاهش اندازه افزایش می‌یابد، فرض بر این است که غلظت نانوپلاستیک‌ها ممکن است از غلظت میکروپلاستیک‌ها هم بیشتر باشد (Taipale *et al.*, 2019). روش‌هایی که اندازه، شکل و نوع پلیمر را بررسی می‌کنند، نشان داده‌اند که عمده میکروپلاستیک‌ها در محیط، پلی‌اتیلن، پلی‌استایرن و پلی‌پروپیلن هستند (Naji *et al.*, 2017). پلی‌اتیلن (PE) همراه با پلی‌پروپیلن که به صورت  $C_nH_{2n}$  مشخص می‌شود، متداول‌ترین پلیمرهای هیدروکربنی هستند. علت استفاده وسیع از آنجا ناشی می‌شود که این ترکیبات از مواد اولیه ارزان پتروشیمی بوده و سهولت پردازش آن‌ها در تعداد زیادی از محصولات است (DaCostaa *et al.*, 2018). تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌عنوان یکی از گذرگاه‌های میکروپلاستیک‌ها تلقی می‌شوند، زیرا می‌توانند نزدیک به ۱۰ میلیارد میکروپلاستیک در طول روز در پساب خود حمل کنند (Minténig *et al.*, 2017). هرچند در برخی موارد کارایی حذف در تصفیه‌خانه ممکن است به ۹۹ درصد برسد، باز هم بسیاری از میکروپلاستیک‌ها از طریق تصفیه‌خانه‌های فاضلاب وارد محیط زیست می‌شوند که باعث آلودگی محیط آبی و خاکی می‌شوند. تاثیرات منفی میکروپلاستیک‌ها بر سیستم‌های آبی در مطالعات

در اصطلاح، واژه پلاستیک، پلیمر و رزین تقریباً معادل هستند (Rongers, 2020) اما در اصطلاح علمی، پلاستیک‌ها دو نوع ترموپلاستیک و ترموست را شامل می‌شوند. نوع اول از پلی‌الفین، پلی‌اتیلن با چگالی کم LDPE، پلی‌اتیلن با چگالی بالا (HDPE)، پلی‌پروپیلن (PP)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌اتیلن تریفتالات (PET) و پلی‌وینیل کلراید (PVC) تشکیل شده است و عمدتاً در ظروف و بسته‌بندی می‌تواند، بازیافت شود. ترموپلاستیک‌ها یا گرمانرم به پلیمرهایی گفته می‌شود که با افزایش دما بدون تغییر شیمیایی ذوب می‌شوند. این پلیمرها را می‌توان به دفعات، ذوب و دوباره جامد نمود. ترموست یا گرماسخت به پلیمرهایی گفته می‌شود که در اثر اعمال حرارت در آن‌ها، پیوندهای عرضی با واکنش‌های شیمیایی ایجاد می‌شود و در نتیجه وزن مولکولی متوسط آن‌ها بالا رفته و به حالت یکپارچه صلب درمی‌آیند. که سیلیکون‌ها، پلی‌استرها و فنولیک‌ها (Ibrahim *et al.*, 2018) از جمله این مواد می‌باشند. بقایای پلاستیک می‌تواند به هر شکل و اندازه‌ای باشد، اما به‌طور معمول به ذرات پلاستیکی به طول کمتر از پنج میلی‌متر (یا به اندازه یک دانه کنجد) میکروپلاستیک گفته می‌شود (NOAA, 2020). اندازه میکروپلاستیک میکروسکوپی ۵-۵۰ میکرومتر است. طبقه‌بندی‌های مختلفی برای زباله‌های پلاستیکی براساس ابعاد فیزیکی آن‌ها پیشنهاد و در مقالات، گزارش‌ها و سازمان‌های بین‌المللی استفاده شده است برای مثال برخی از پژوهشگران میکروپلاستیک‌ها را ذرات پلاستیکی در محدوده‌ی اندازه بین ۳۳۳ میکرومتر تا ۵ میلی‌متر تعریف کرده‌اند (Moradi, 2018). مطالعات اخیر

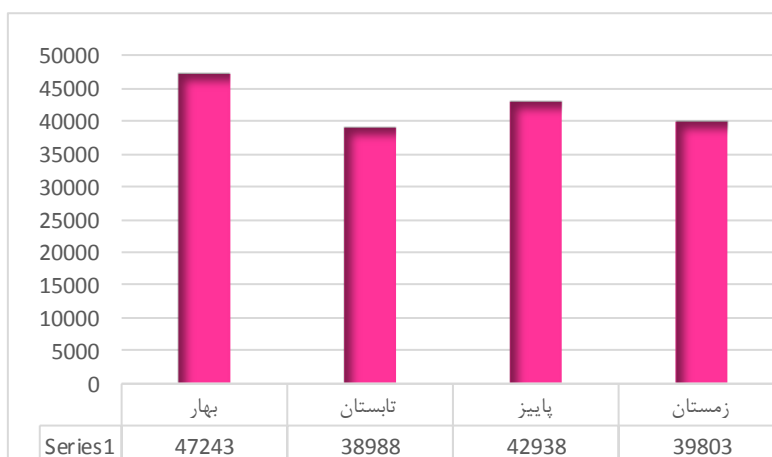
ورامین را تأمین می‌کند. نمونه‌برداری در این مطالعه به‌صورت ماهانه در طول مدت یک سال از آذر ماه ۱۳۹۸ تا آذر ماه ۱۳۹۹ و هر ماه ۴ نمونه ۱ لیتری (در مجموع ۴۸ لیتر) از پساب تصفیه خانه فاضلاب انجام شد. برای نمونه‌برداری، از ظرف‌های شیشه‌ای کدر درب‌دار با حجم ۱ لیتر استفاده شد. دلیل کدر بودن ظرف‌ها، جلوگیری از تابش نور خورشید به داخل ظرف و تجزیه احتمالی میکروپلاستیک‌ها بود. همچنین، از آنجا که درب‌های این ظروف پلاستیکی بوده، یک فویل آلومینیومی بین ظرف و درب آن قرار گرفت تا از آلودگی نمونه‌ها جلوگیری شود. نمونه‌ها به روش تصادفی (که هر یک از عناصر مورد نظر شانس مساوی انتخاب شدن داشته باشند) تهیه شدند. جهت جلوگیری از فعالیت باکتریایی، بلافاصله نمونه‌ها به دمای ۴ درجه سانتی‌گراد یخچال منتقل شدند. جهت نمونه‌برداری به منظور شناسایی نانوپلاستیک‌ها نیز تعداد ۸ نمونه ۱ لیتری با استفاده از بطری شیشه‌ای درب‌دار با شرایط فوق تهیه و بلافاصله به یخچال منتقل شدند. برای از بین بردن ذرات آلی، نمونه‌ها ابتدا آماده‌سازی شدند زیرا وجود میکروارگانیسم‌ها و دیگر ذرات آلی می‌تواند در عمل فیلتراسیون اختلال ایجاد کند و عکس‌برداری توسط میکروسکوپ الکترونی را با مشکل مواجه سازند. جهت آماده‌سازی، دو محلول اضافه شد تا ذرات آلی هضم شوند. اضافه کردن این مواد طبق پیشنهاد سازمان اقیانوس جوی (NOAA) انجام گرفت، به این صورت که محلول بر پایه اسید، محلول آهن با غلظت ۰/۰۵ مول بوده که از ۶ سی‌سی سولفوریک اسید ۹۸ درصد، ۱۵ گرم پودر سولفات آهن هفت آب (FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) و یک لیتر آب یون‌زدایی شده به‌دست می‌آید. محلول دیگر نیز هیدروژن پیراکسید

پیشین بررسی شده‌اند و اثر این ذرات در برخی مطالعات دیگر نیز توصیف شده است (Chae and An, 2017; Jemec et al., 2016). اندازه کوچک و مقدار زیاد، میکروپلاستیک‌ها را به عنوان گزینه مناسب برای بلعیده شدن توسط موجودات زنده تبدیل کرده است و ریسک جذب یا واجذب شدن مواد شیمیایی موجود در آب یا در بافت بدن موجود زنده را بالا می‌برند (Bakir, 2014). در مطالعات اخیر گزارش کرده‌اند که خطرات مربوط به نانوپلاستیک‌ها از میکروپلاستیک‌ها بیشتر است (Liu et al., 2018)، هرچند به دلیل محدود بودن امکانات آزمایشگاهی، شناسایی نانوپلاستیک‌ها در محیط آبی بسیار دشوار است (Hidalgo and Thiel, 2012)، از این‌رو نسبت ذرات نانوپلاستیک به میکروپلاستیک در تصفیه‌خانه‌ها هنوز مشخص نیست. میکروپلاستیک‌ها تقریباً در همه جا پراکنش دارند. بلع غذا، تنفس هوایی و تماس پوستی، راه‌های در معرض قرار گرفتن انسان برابر این آلاینده‌ها می‌باشد (Revel et al., 2018). بنابراین مطالعه حاضر، به‌منظور بررسی میکرو و نانوپلاستیک‌های خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری جنوب تهران به اجرا درآمد، تا ضمن تشخیص بیشترین نوع این ذرات در پساب، مقدار و کمیت و همچنین درصد ذرات نانو را پس از طی مراحل تصفیه و در خروجی آن برآورد شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. نمونه‌گیری و آماده‌سازی نمونه‌ها

در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران، فرآیند تصفیه از نوع لجن فعال همراه با حذف نیتروژن است و پساب تصفیه شده، نیاز آبیاری زمین‌های کشاورزی دشت



شکل ۱- تعداد میکروپلاستیک‌ها در نمونه‌های هر فصل

تنظیم شد. سپس سانتریفیوژ را به مدت ۵ دقیقه با ۴۰۰۰ دور تنظیم تا جداسازی مواد غیر پلاستیکی و شناورسازی میکروپلاستیک‌ها صورت گیرد. سپس ذرات شناور را دوباره فیلتر کرده تا از میکروپلاستیک بودن ذرات روی فیلتر اطمینان حاصل شود. سپس فیلترهای به دست آمده را به مدت ۶۰ دقیقه در آون با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده تا خشک شوند به منظور آنالیزهای رامان و میکروسکوپی در دسیکاتور گذاشته تا آماده شوند.

## ۲-۲. آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیز

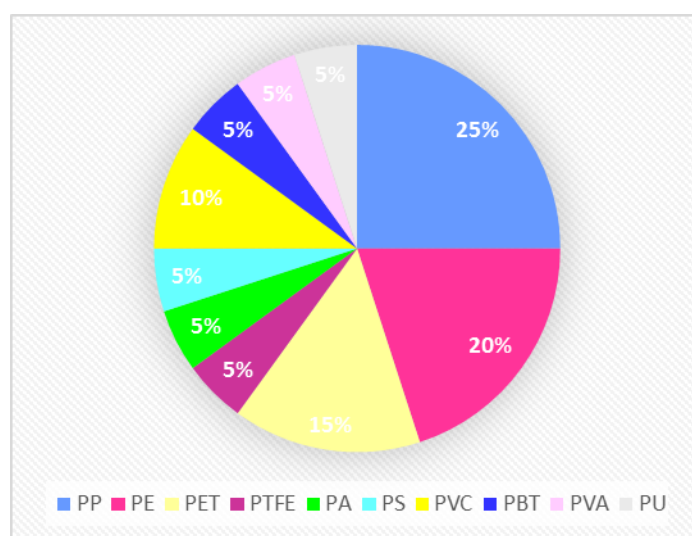
### میکروسکوپ الکترونی

پس از این که فیلترها خشک شدند، برای آنالیز میکروسکوپ الکترونی آماده می‌شوند. ۳ قطعه ۳×۸ میلی متر طبق روش Pivokonsky و همکاران (۲۰۱۸)، از فیلتر جدا می‌شوند تا تمام سطح آن اسکن شود. اسکن با بزرگنمایی ۳۰۰۰X انجام می‌شود تا ذرات پلاستیکی کوچکتر از ۱ میکرون نیز دیده شوند. قبل از عکسبرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، یک لایه طلا روی نمونه‌ها پاشیده شد تا رسانایی نمونه‌ها برقرار شود. تصاویر با ولتاژ ۱۰ Kv و فاصله دیتکتور ۹ میلی‌متر انجام شد. شناسایی میکروپلاستیک‌ها از طریق شناخت ظاهری

۳۵ درصد می‌باشد. ترکیب این دو محلول هر کدام به میزان ۸۰ سی‌سی در هر لیتر نمونه می‌باشد. پس از اضافه کردن این مواد، نمونه‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفتند ( NOAA Marine Debris Program, 2015). دمای بیش از ۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند ساختار برخی از پلیمرها مانند PET را از بین ببرد. پس از این مرحله نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق نگهداری شدند تا عمل هضم به خوبی انجام شود. در ادامه، از فیلترهای غشایی سلولز نیترات با اندازه ۰/۴۵ میکرون جهت فیلتراسیون استفاده شدند که این کار توسط پمپ خلأ صورت گرفت. برای جداسازی مواد غیر پلاستیکی مانند ذرات رس و سیلت از روش جداسازی وزنی استفاده شد. در این روش، از محلول کلرید روی با غلظت ۵/۵ مول (۱/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب) استفاده شد تا بیشترین میزان میکروپلاستیک‌ها (۹۵ درصد) را به دست آید. مخزن‌های لوله‌ای ۲۰ میلی‌لیتری سانتریفیوژ با این محلول پر شده و فیلترها در آن غوطه‌ور شدند. سپس لوله‌ها را در حمام اولتراسونیک به مدت ۱۰ دقیقه قرار داده تا تمام مواد آن از فیلتر جدا شوند. میزان توان اولتراسونیک روی ۶۰ درصد

جدول ۱- نتایج شناسایی نوع میکروپلاستیک

نوع	تعداد
PP	۵
PE	۴
PET	۳
PTFE	۱
PA	۱
PS	۱
PVC	۲
PBT	۱
PVA	۱
PU	۱



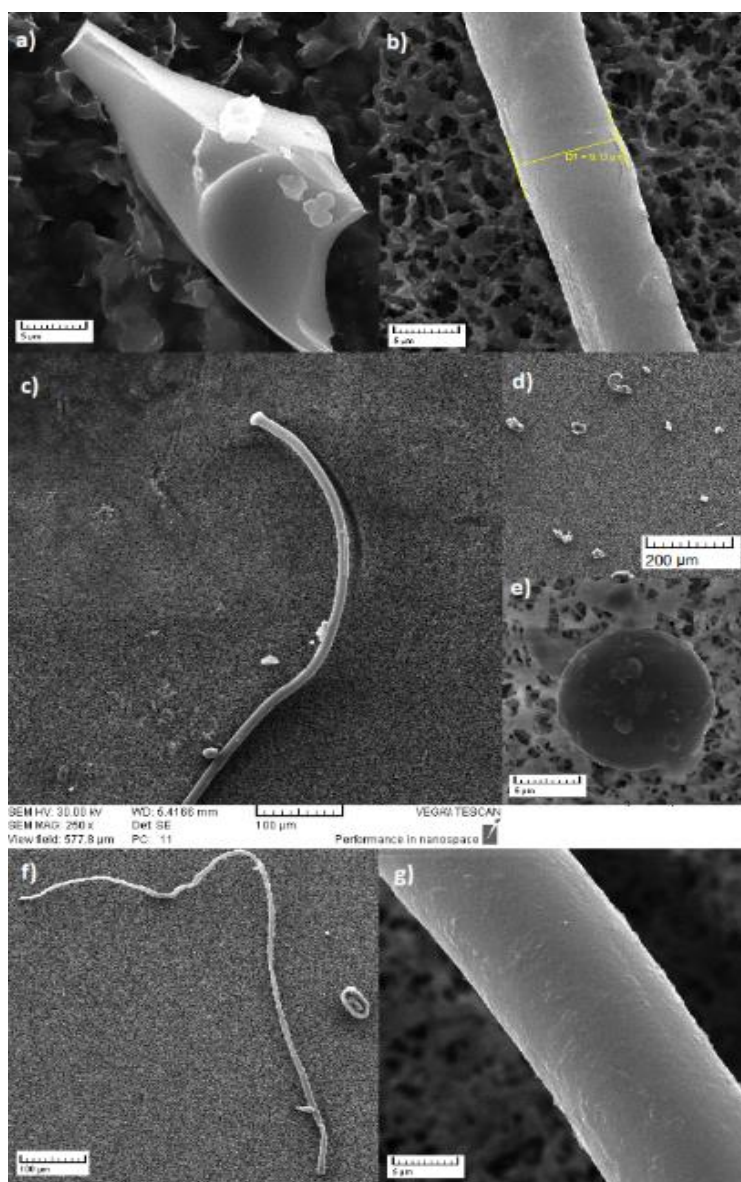
شکل ۲- درصد انواع ذرات میکروپلاستیک در پساب

شدند. میکرو و نانوپلاستیک‌ها از لحاظ ابعاد به ۶ دسته ۱-۰/۲ میکرومتر، ۱-۵ میکرومتر، ۱۰-۵ میکرومتر، ۵۰-۱۰۰ میکرومتر و بالای ۱۰۰ میکرومتر تقسیم‌بندی شدند.

### ۲-۳. آماده‌سازی نمونه‌ها جهت تست رامان

تعدادی از میکروپلاستیک‌ها جدا شده از روی فیلتر برای تست رامان آماده انتخاب شدند. بدین منظور، ۲۰ میکروپلاستیک از روی فیلتر جدا و روی چسب مسی قرار گرفتند که برای آنالیز طیف‌نگاری ارسال شدند. چسب مسی به دلیل عدم تداخل در طیف‌های حاصل از این دستگاه‌ها استفاده می‌شوند. همچنین نسبت پلیمرهای شناسایی شده به تعداد

آن‌ها انجام می‌شود. به دلیل غیر عملی بودن، زمان‌بر بودن و هزینه بالا اسکن تمامی سطح فیلتر، تنها ۳ قسمت با ابعاد ۸×۳ میلی‌متر (یکی در وسط، یکی در گوشه و یکی بین این دو ناحیه) از فیلتر جدا شد و مورد عکسبرداری قرار گرفت که در نهایت نتایج حاصل به کل فیلتر نسبت داده شدند. این ذرات می‌توانند فیبر با ظاهری نازک و بلند یا تکه‌هایی با ظاهری صاف و یا شکسته و یا به شکل کره باشند. همچنین ذرات فیلیم با ظاهری مسطح و نازک می‌توانند وجود داشته باشند. همزمان با فرایند اسکن، تعداد، اندازه و سایز میکرو نانوپلاستیک‌ها با استفاده از نرم‌افزار Image J (نسخه ۱,۴۷) ثبت



شکل ۳- تصاویر گرفته شده با استفاده از میکروسکوپ SEM. (a) و d یک قطعه، b، c، f و g میکروفیبر و e میکروپلاستیک کروی)

با قلّه‌های طیف‌های دیتابیس همانند باشند.

### ۳. نتایج و بحث

#### ۳-۱. شمارش میکرو و نانو پلاستیک‌ها

در بررسی تعداد میکروپلاستیک نمونه‌ها با میکروسکوپ SEM بخش‌هایی از فیلتر مشخص، (در اطراف سوراخ‌های قیف بوختر که به دلیل مکش بیشترین تراکم اطراف آن مشاهده می‌شود از دو طرف و یک عکس از وسط تهیه گردید) و شمارش

میکروپلاستیک‌ها تعمیم داده شد. طول موج لیزر دستگاه رامان ۷۸۵ نانومتر، مدت زمان طیف‌گیری ۱۰ ثانیه در یک مرتبه، با بزرگنمایی ۵۰ برابر در ۱۰ میلی‌ولت انجام گرفت. دیافراکت عددی ۰/۷۵ و گریتنینگ ۱۲۰۰ در هر میلی‌متر و بازه جمع‌آوری طیف مابین ۵۰۰ تا ۳۵۰۰ بود. در ادامه طیف‌های به‌دست آمده با دیتابیس طیف‌های مادون قرمز و رامان (IRUG) مقایسه شدند تا شناسایی پلیمرها انجام شود. در این مقایسه، قلّه‌های طیف نمونه، باید

(شکل ۱) که به‌طور میانگین ۴۷/۴۸٪ فیبر و ۴۷/۴۷٪ قطعه و ۵/۰۵٪ را فیلم تشکیل می‌داد. بیشترین فراوانی ذره مربوط به پلی‌پروپیلن بود و نانوپلاستیک‌ها به‌طور میانگین ۳۴/۷۲٪ از ذرات را تشکیل دادند. این مطالعه درصد بالایی از ذرات میکرو و نانوپلاستیک را در خروجی پساب فاضلاب شهری نشان داد که بیان‌کننده عدم کارآمدی سیستم‌های تصفیه در حذف این‌گونه ذرات است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی حذف زیستی این ذرات مورد بررسی قرار گیرد.

صورت گرفت. میانگین تعداد در نمونه‌ها تقریباً ۳۰۰۰ میکروپلاستیک در هر ۱ لیتر نمونه پساب برآورد گردید. در ۱۶ نمونهٔ مربوط به فصل بهار، تعداد ۱۴۶۶۴ نانوپلاستیک (با اندازه کمتر از یک میکرون) در مجموع ۴۷۲۴۳ ذرات شناسایی شد که ۳۱/۰۳ درصد از مجموع ذرات را تشکیل می‌دهد. در ۱۶ نمونهٔ مربوط به فصل پاییز، تعداد ۱۵۰۰۹ نانوپلاستیک (با اندازه کمتر از یک میکرون) در مجموع ۴۲۹۳۸ ذرات برآورد شد که ۳۴/۹۵ درصد از مجموع ذرات را تشکیل می‌دهد. در ۱۶ نمونه مربوط به فصل تابستان، ۱۳۸۸۷ نانوپلاستیک (با اندازه کمتر از یک میکرون) در مجموع ۳۸۹۸۸ ذرات شناسایی شد که ۳۵/۶۱ درصد از مجموع ذرات را تشکیل می‌دهد. در ۱۶ نمونه مربوط به فصل زمستان، ۱۴۸۴۷ نانوپلاستیک (با اندازه کمتر از یک میکرون) در مجموع ۳۹۸۰۳ ذرات تخمین زده شد که ۳۷/۳۰ درصد از مجموع ذرات را تشکیل می‌دهد (شکل ۱).

### ۳-۲. شناسایی نوع میکروپلاستیک‌ها

برای شناسایی ریخت‌شناسی میکروپلاستیک‌ها، از SEM استفاده شد. میانگین نتایج ۲۰ آزمون رامان از ۴۸ نمونه نشان داد که بیشترین مقدار میکروپلاستیک، مربوط به پلی‌پروپیلن و پس از آن پلی‌اتیلن است. که در جدول ۱ و شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. مطابق نتایج فصل‌های مختلف سال، مشاهده شد که در نمونه‌های فصل تابستان کمترین و در نمونه‌های فصل بهار بیشترین تعداد میکروپلاستیک برآورد شد. در این نمونه‌ها ذرات به سه صورت فیبر<sup>۱</sup>، قطعه<sup>۲</sup>، فیلم<sup>۳</sup> قابل تشخیص بود.

<sup>۱</sup>Fiber

<sup>۲</sup>Fragment

<sup>۳</sup>Film

## References

- Bakir, A., Steven, J.R., Owland, Richard, C.T., 2014, Enhanced desorption of persistent organic pollutants from microplastics under simulated physiological conditions, *Environmental Pollution* 185, 16-23.
- Chae, Y., Youn joo A., 2017. Effects of micro- and nanoplastics on aquatic ecosystems Current research trends and perspectives. *Marine Pollution Bulletin* 124(2), 624-632.
- Costaa, D., Joao P., Nunesa, A. N., Santosa, P. S. M., Gir, A.V., Duartea, A. C., -Santosa, T. R., 2018, Degradation of polyethylene microplastics in seawater: Insights into the environmental degradation of polymer, *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 53(9), 866-875.
- Fan, L., Nord, N. B., Bester, K., Vollertsen, J., 2020, Microplastics Removal from Treated Wastewater by a Biofilter, *Water* 12(4), 1085-1094.
- Halla, I., Ahmed, H.A.M., Ahmed, S.M., Mohammed, R., 2018. Thermal Degradation of Four Types of Plastic Solid Waste HDPE, LDPE, PP and PS, *Africa City of Technology, Khartoum Sudan* 3, 5 Petrochemicals Department, Egyptian Petroleum Research Institute, Nasr City, Cairo, Egypt 2, 4 Sudan University of Science and technology, Khartoum Sudan.
- Mintenig, S.M., Int-Veen, I., Löder, M.G.J., Primpke, S., Gerdt, G., 2017. Identification of microplastic in effluents of waste water treatment plants using focal plane array-based micro-Fourier-transform infrared imaging. *Water Research* 108(Supplement C) 365-372.
- Moradi, M., 2018. Assessing the status of microplastics in sediments between the tides off the coast of Hormozgan and oysters. M.Sc. thesis in Environmental Sciences, Tehran University.
- Naji, A., Esmaili, Z., Mason, S., Dick, V., 2017. The occurrence of microplastic contamination in littoral sediments of the Persian Gulf, Iran. *Environmental Science and Pollution Research* 24(25), 20459-20468.
- NOAA Marine Debris Program, 2015, Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments Technical Memorandum NOS-OR&R-48.
- Pivokonsky, M., Lenka, C., Katerina, N., Petra, P., Tomas, C., Vaclav, J., 2018. Occurrence of microplastics in raw and treated drinking water, *Science of The Total Environment*.
- Revel, M., Amélie, C.C M., 2018. Micro (nano)plastics: a threat to human health, *Current Opinion in Environmental Science & Health* 643, 1644-1651.
- Ruz, H., Gutow, V., Thompson, L., Thiel M., 2012. Microplastics in th marine environment: a review of the methods used for identification a quantification. *Environmental Science and Technology* 46, 3060-3075.
- Taipale, S.J., Peltomaa, E., Kukkonen, J.V.K., Kainz, M.J., Kautonen, P., Tirola, M. 2019. Tracing the fate of microplastic carbon in the aquatic food web by compound-specific isotope analysis. *Scientific Reports* 9(1), 1-15.
- Xiaoru, C., Xue, Y., Li, J., Zou, L., Tang M., 2020, Potential health impact of environmental micro- and nanoplastics pollution. *Journal of Applied Toxicology* 40(1). 4-15.